

ANALISIS PENGARUH INTENSITAS CAHAYA TERHADAP PEMODELAN 3 DIMENSI MENGGUNAKAN DEPTH CAMERA KINECT XBOX 360

Panhar, B.N.J. ; Tjahjadi, M.E. ; Yulianandha, A.

Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang

Jl. Bendungan Sigura-gura Kampus 1, No.2 Malang Telp. 0341-551431

Email : nofagiejimmy@gmail.com

ABSTRAK

Fotogrametri jarak dekat adalah fotogrametri yang diterapkan pada objek di atas permukaan bumi dengan menggunakan jarak tertentu dari objek tersebut ke kamera seperti halnya *Depth camera Kinect XBOX 360* yang mampu memproyeksikan bentuk sebuah objek. Namun dalam fotogrametri jarak dekat terdapat kelemahan seperti halnya intensitas cahaya yang menciptakan gelombang cahaya sehingga dapat mempengaruhi optik pada alat yang digunakan pada saat proses perekaman. Metode fotogrametri jarak dekat adalah metode yang memiliki proses yang cukup sederhana, mudah dan harganya relatif terjangkau. Dalam proses perekaman tidak memerlukan waktu yang cukup lama. Namun hal yang mempengaruhi perekaman adalah pencahayaan pada saat perekaman yang mengganggu geometri dan radiometri pada saat pembentukan model 3D (tiga dimensi), dan hal inilah yang harus diperhatikan pada saat perekaman objek. Dari proses perekaman didapatkan analisis seperti perbedaan nilai RMSE tiap intensitas cahaya yang tidak terlalu jauh dan masih masuk toleransi maksimal 1mm, perbedaan jarak antar titik yang dimana intensitas 400-800 lux dan 800-1200 lux mempunyai jarak yang hampir mendekati jarak sesungguhnya pada objek, dan perbedaan warna RGB tiap intensitas cahaya yang memiliki selisih warna kecil hanya pada warna yang dominan dari titik-titik validasi untuk RGB.

I. PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Fotogrametri merupakan seni, ilmu, dan teknologi untuk memperoleh informasi terpercaya tentang objek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan interpretasi gambaran fotografik. Salah satu kegiatan pemodelan 3D (tiga dimensi) dapat dilakukan dengan menggunakan fotogrametri jarak dekat. Fotogrametri jarak dekat adalah fotogrametri yang diterapkan pada objek di permukaan bumi, dengan jarak tertentu pada objek tersebut ke kamera (Hanifa, 2007).

Dalam fotogrametri jarak dekat sebuah intensitas cahaya juga dapat mempengaruhi dalam melakukan kegiatan ini yang dimana suatu sumber cahaya akan menciptakan gelombang cahaya yang dapat mempengaruhi optik pada alat yang digunakan pada saat proses perekaman. Berdasarkan atas pernyataan sebelumnya maka pengetahuan dasar tentang perilaku cahaya merupakan syarat utama untuk memahami ilmu pengetahuan fotogrametri khususnya dalam fotogrametri jarak dekat (Wolf, 1993).

Dalam Fotogrametri jarak dekat khususnya salah satu faktor yang mempengaruhi Geometri adalah intensitas cahaya, hal ini dikarenakan pada saat perekaman pada objek terdapat kesalahan terutama pada perbedaan dalam pencahayaan, sehingga mengakibatkan perbedaan bentuk dan warna antara satu foto dengan foto lainnya (Mulia D Handayani, 2014)

Pada penelitian ini dilakukan dengan mengamati intensitas cahaya yang baik dengan memanfaatkan alat ukur intensitas cahaya Lux Meter saat melakukan perekaman pada objek dan diolah menjadi bentuk 3D (tiga dimensi). Pemodelan 3D (tiga dimensi) dari objek dilakukan dengan

memanfaatkan *depth camera* dari *Kinect* sebagai alat perekaman 3D (tiga dimensi) berbiaya murah. Hasil akhir dari penelitian ini yaitu tolak ukur intensitas cahaya yang baik pada model 3D (tiga dimensi) dari objek tersebut.

I.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh intensitas cahaya buatan terhadap hasil pemodelan 3 dimensi menggunakan perangkat Kinect XBOX 360 ?
2. Bagaimana kualitas geometric dan radiometric yang dihasilkan oleh model 3D (tiga dimensi) menggunakan Kinect XBOX 360 dalam intensitas cahaya yang berbeda ?

I.3. Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk melakukan analisis intensitas cahaya buatan terhadap hasil point cloud yang dimana menggunakan console game XBOX Kinect dalam pemodelan 3D (tiga dimensi).
2. Melakukan analisis pengaruh intensitas cahaya terhadap geometri dan radiometri yang dihasilkan oleh perangkat kinect XBOX 360 dalam pemodelan 3D (tiga dimensi).

Manfaat yang dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi tentang intensitas cahaya yang baik terhadap kemampuan perangkat Kinect XBOX 360 sebagai alat pemodelan 3D (tiga dimensi) dengan berbiaya relatif terjangkau.
2. Membuat model 3D (tiga dimensi) dengan geometri yang dihasilkan oleh perangkat Kinect XBOX 360 pada objek yang telah disediakan. Pemodelan 3D (tiga dimensi) ini diharapkan dapat menjadi dokumentasi agar dapat memberikan kemudahan untuk

mendeteksi kerusakan dalam keperluan rekonstruksi dan restorasi terhadap objek ataupun yang lainnya.

I.4. Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan di studio perekaman yang dibuat sendiri
2. Fokus pada penelitian ini adalah pengamatan intensitas cahaya menggunakan alat pengukur intensitas cahaya Lux Meter pada saat pemindaian 3D (tiga dimensi) yang memanfaatkan titik point cloud pada konsol Kinect XBOX 360 sebagai alat yang berbiaya relative terjangkau.
3. Data yang digunakan adalah data Lux yang diperoleh pada pengamatan intensitas cahaya menggunakan Lux Meter dan data primer yang diperoleh dari hasil pemindaian 3D (tiga dimensi) berupa data point cloud menggunakan alat Kinect XBOX 360.
4. Metode yang digunakan adalah pengamatan intensitas cahaya pada alat Lux Meter dan Capture Scanning pada alat Kinect XBOX 360.
5. Hasil pengolahan data pada penelitian ini berupa Tabel Analisis Geometri dan Radiometri dengan intensitas cahaya yang berbeda disaat perekaman 3D (tiga dimensi) serta grafik dari seluruh analisis
6. Pengamatan intensitas cahaya dibagi menjadi 5 pencahayaan buatan menggunakan lampu yang diatur sesuai dengan range class dari pencahayaan yang telah ditentukan.

II. DASAR TEORI

II.1. Microsoft Kinect

Kinect adalah perangkat input untuk mendeteksi gerakan yang diproduksi oleh Microsoft untuk Video Game XBOX 360 dan PC dengan sistem operasi Windows. Dengan menggunakan kamera yang mirip dengan webcam, memungkinkan Kinect untuk menangkap gerakan pengguna yang akhirnya pengguna tidak perlu menyentuh secara langsung controller game. Cukup dengan melakukan gerakan-gerakan yang alami.

Kinect dibangun dengan menggunakan teknologi software yang dikembangkan secara internal oleh Rare, sebuah perusahaan game dibawah Microsoft Game Studios milik Microsoft. Kamera pada Kinect dikembangkan oleh pengembang asal Israel yakni PrimeSense, yang mengembangkan sebuah sistem yang mampu mengartikan gerakan secara tepat, yang akhirnya memungkinkan pengaturan tanpa tangan pada perangkat elektronik dengan menggunakan proyektor infrared, kamera, dan sebuah microchip untuk mendeteksi gerakan obyek dalam 3D (tiga dimensi).

Kinect versi 1 (lihat Gambar 2.1) memiliki beberapa fitur utama yang meliputi:



Gambar 2.1 Microsoft Kinect XBOX 360
(sumber : <http://www.xbox.com/en-US/xbox-360/accessories/kinect>)

- a. *Raw sensor stream* yang dapat digunakan untuk mengakses informasi dari *depth sensor*, *color camera sensor*, dan *microphone array*.
- b. *Skeletal tracking* yang dapat digunakan untuk mendeteksi *skeleton* dari pengguna yang berada dalam jangkauan jarak pandang Kinect.
- c. *Advanced audio capabilities* yang memiliki beberapa kegunaan utama seperti *effective noise suppression*, *acoustic echo cancellation*, *beamforming* and *source locatization*. (Alexander dkk, 2017)

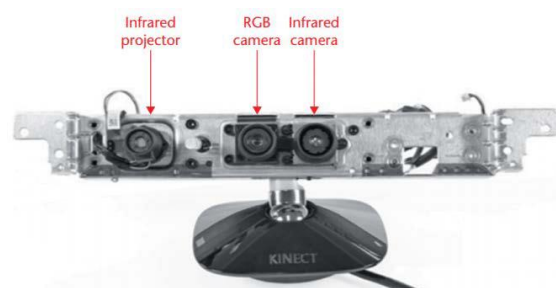
II.2. Sensor Microsoft Kinect

Kinect merupakan sensor RGB-Depth dari Microsoft yang menggunakan teknologi Light Coding dari PrimeSense, perusahaan milik Apple Inc. Light Coding merupakan teknologi yang dapat merekonstruksi peta kedalaman 3D (tiga dimensi) suatu keadaan secara realtime dan detail. Sensor RGB-Depth dapat menghasilkan citra dengan *frame rate* 30 Hz. (Hendawan, 2012)

Resolusi gambar yang dihasilkan adalah 640 x 480 piksel. Setiap piksel pada citra *depth* berukuran 11 bit sehingga dapat menghasilkan sensitivitas pengukuran jarak sebanyak 2048 level. Sensor Kinect juga menghasilkan citra RGB dengan resolusi 640 x 480 piksel. (Hendawan, 2012)

II.3. Depth Camera Kinect

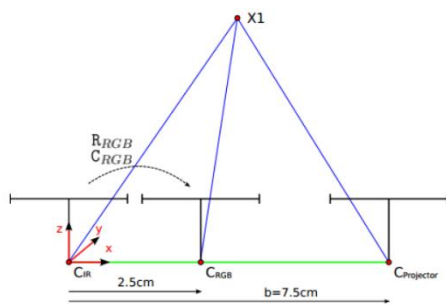
Gambar 2.2. menunjukkan komponen-komponen pada Kinect. Komponen-komponen Kinect terdiri dari 3D Depth Sensor (IR)/Depth Camera, Kamera RGB (Color Sensor) dan Multi-Array Microphones.



Gambar 2.2 Komponen Kinect (sumber : Smisek dkk, 2011)

Depth Camera IR dari Kinect XBOX ini bekerja sesuai prinsip *structured light*, yaitu memproyeksikan pola yang sudah dikenalnya (sudah tertanam di dalam sensor) ke daerah di hadapannya, kemudian menyimpulkan nilai kedalaman dari perhitungan jarak di antara pola tersebut. Proyektor inframerah berfungsi dalam mentransmisikan cahaya ke seluruh bagian yang terjangkau oleh kinect

Untuk mengetahui jarak objek dari sensor maka harus menggunakan Sensor monochrome CMOS. Dimana sensor tersebut memiliki fungsi sebagai pengukur waktu merambatnya cahaya setelah terpantul oleh obyek di depannya. Sistem ini bekerja layaknya sebuah sonar, bila diketahui waktu yang dibutuhkan untuk cahaya tersebut kembali. (Mathe, 2011).



Gambar 2.3 Model geometri Kinect (sumber: Smisek dkk, 2011)

Dari Gambar 2.3 tersebut dapat dilihat bahwa jarak antara kamera atau disebut juga sebagai jarak basis pada kamera Kinect sangat kecil. Jarak basis yang pendek ini mempengaruhi kualitas pembentukan obyek 3D (tiga dimensi). Kualitas tersebut dipengaruhi oleh nilai B/H ratio. Untuk menjaga kualitas agar tetap baik dimana B/H ratio mendekati 1, maka jarak antara kinect dengan objek yang direkam harus cukup dekat.

II.4. Registrasi Cloud To Cloud

Pointclouds merupakan sekumpulan titik dalam Pada registrasi cloud to cloud tidak memerlukan target acuan seperti halnya metode target based. Hal tersebut didasarkan pada proses registrasi cloud to cloud yang menggunakan prinsip penggabungan point clouds dengan bentuk yang sama. Adapun syarat dari proses registrasi cloud to cloud adalah memiliki overlap yang cukup agar obyek yang sama dapat dengan mudah diidentifikasi.

II.4. Evaluasi Kesalahan

Root Mean Square Error (RMSE) merupakan suatu nilai yang digunakan untuk menunjukkan ketelitian dengan melibatkan semua faktor kesalahan yang terjadi selama proses pengukuran atau produksi data. Secara matematis

RMSE merupakan akar kuadrat dari rata-rata jumlah kuadrat residual. Terdapat dua persamaan untuk menghitung besarnya nilai RMSE. Perbedaan ini berdasarkan data ukuran yang

digunakan. Jika data ukuran merupakan populasi maka persamaan yang digunakan dalam menghitung besar nilai RMSE adalah persamaan berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \mu)^2}{n}}$$

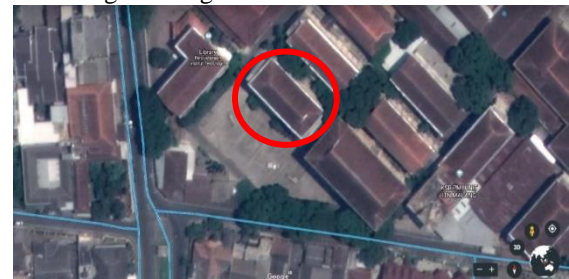
Untuk menghitung besar nilai RMSE dengan data ukuran berupa sampel dari populasi maka dapat digunakan persamaan berikut :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \mu)^2}{n-1}}$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Ruang Seminar, Lantai 2 Gedung Teknik Geodesi, Kampus 1 Institut Teknologi Malang.



Gambar 3.1. Lokasi penelitian

III.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini ialah:

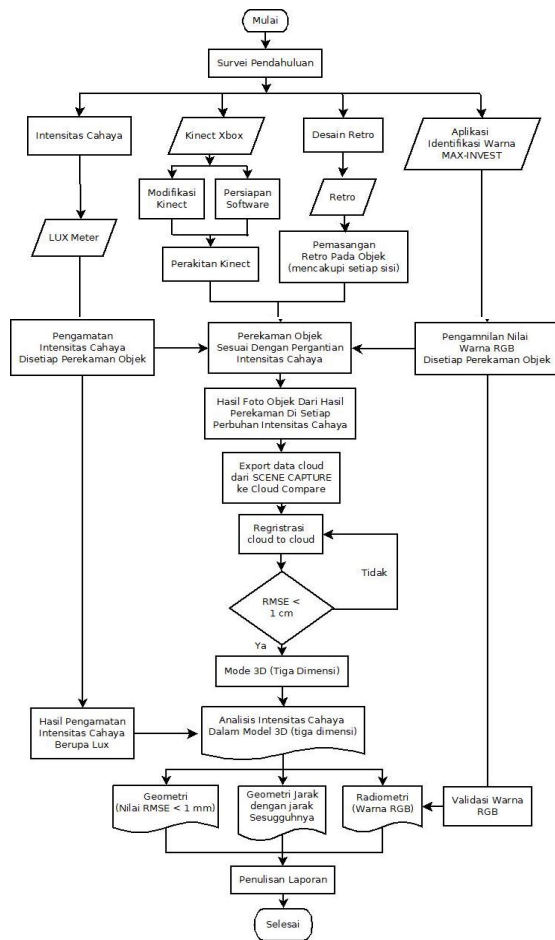
1. Seperangkat Sensor Kinect, Sensor Kinect XBOX 360 dengan spesifikasi *depth camera* :
 - a. Resolusi 640x480
 - b. Jangkauan 0,8 m – 4 meter
 - c. FOV sebesar 43° untuk vertikal dan 57° untuk horizontal
 - d. Kecepatan perekaman 30 frame/detik
2. Battery 12 volt
3. Alat ukur intensitas Cahaya Lux Meter
4. Alat pendeteksi warna dengan sensor warna TCS230

Bahan dalam penelitian ini ialah:

1. Retro berukuran 1.5cm x 1.5cm dengan diameter berukuran 1cm
2. Objek foto berupa Kendi

III.3. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa tahapan yang diringkasi dan ditampilkan dalam gambar diagram alir sebagai berikut



Gambar 3.2. Diagram alir penelitian

III.4. Persiapan Perekaman

Sebelum merekam objek yang harus disiapkan adalah lampu sebagai media cahaya dengan mengatur jarak lampu ke objek yang akan direkam. Lalu menyiapkan aki/baterai sebagai daya pada alat *Kinect XBOX* yang berfungsi untuk merekam objek serta menyediakan satu buah laptop sebagai media display perekaman objek.



Gambar 3.3. Peralatan yang digunakan

III.4. Pengukuran Intensitas Cahaya

Sebelum melakukan pengukuran dengan pencahayaan terpusat langsung ke objek sesuai jarak intensitas cahaya, intensitas cahaya dibagi menjadi 5 range class dikarenakan sesuai dengan kapasitas pencahayaan yang disediakan ke objek dan pembagian range classnya seperti pada table 3.1. berikut.

Tabel 3.1. Pembagian Range class Intensitas Cahaya

Range class	Sesi Perekaman
0-400 lux	Intensitas Cahaya 1
400-800 lux	Intensitas Cahaya 2
800-1200 lux	Intensitas Cahaya 3
1200-1600 lux	Intensitas Cahaya 4
1600-2000 lux	Intensitas Cahaya 5

Lalu setelah itu melakukan pengukuran intensitas cahaya menggunakan *LUX* meter dengan cara mengatur jarak kedua lampu hingga alat ukur *LUX* meter mencapai pencahayaan yang diinginkan sesuai dengan 5 class yang telah ditentukan.



Gambar 3.4 Pengukuran Intensitas Cahaya
(Dari kiri kekanan : 400 lux, 800 lux, 1200 lux, 1600 lux, 2000 lux)

III.5. Identifikasi Warna

Dalam identifikasi warna ini menggunakan aplikasi android *MAX-INVEST*. Pengambilan nilai RGB ini dilakukan serentak pada saat perekaman objek sebagai nilai validasi dari analisis radiometri dengan intensitas cahaya yang berbeda. Sebelumnya pada objek ditempel dua titik warna yaitu hijau dan merah muda di sisi yang berbeda, dan kedua titik warna ini yang akan dijadikan titik validasi untuk warna RGB nya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

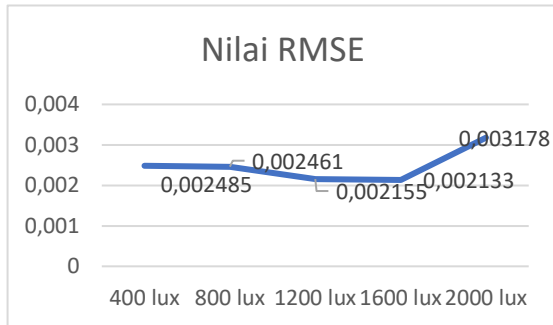
IV.1. Hasil RMSE *Registrasi Cloud to Cloud*

Analisis nilai RMSE disini meliputi 5 perekaman dari 5 intensitas cahaya yang berbeda. Nilai RMSE didapat dari menggabungkan dua sisi gambar menjadi satu, posisi point *Registrasi Cloud to Cloud* harus sesuai untuk sisi reference dan sisi align. Menentukan *Registrasi Cloud to Cloud* disini manual menggunakan mata manusia untuk memperkirakan point yang sama dari penggabungan 2 sisi gambar. Berikut hasil rata-rata dari seluruh rata-rata nilai RMSE keseluruhan intensitas cahaya.

RMSE	
400 lux	0.00249
800 lux	0.00246
1200 lux	0.00216
1600 lux	0.00213
2000 lux	0.00318

Tabel 4.1. Nilai Rata-rata RMSE

Dari semua rata-rata selisih intensitas cahaya 400 lux, 800 lux, 1200 lux, 1600 lux dan 2000 lux maka selanjutnya dapat membuat chart bar untuk semua rata-rata selisih RMSE tersebut.



Gambar 4.1. Grafik Nilai RMSE

Dalam nilai RMSE *Regristrasi Cloud to Cloud* tidak ada perbedaan secara signifikan. Semua nilai RMSE di intensitas cahaya berbeda memiliki nilai yang bagus dimana semua nilai ada dibawah 1 cm.

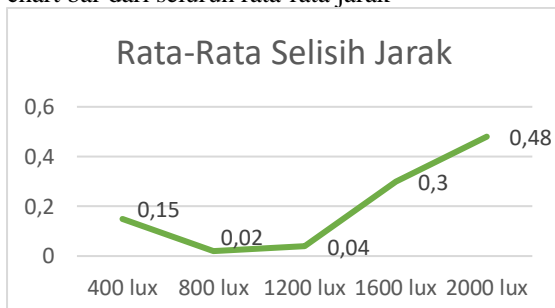
IV.2. Hasil Perbandingan Jarak

Metode Analisis Jarak ini yaitu dengan cara membandingkan jarak langsung dari objek dengan jarak yang ada pada software Cloud Compare Stereo dengan mengambil sepuluh sampel jarak untuk kesemua intensitas cahaya lalu kemudian dirata-rata seperti tabel dibawah ini.

Rata-RataSelisih Jarak	
400 lux	0.15
800 lux	0.02
1200 lux	0.04
1600 lux	0.3
2000 lux	0.48

Tabel 4.2. Nilai Rata-Rata Selisih jarak

Lalu melakukan Selisih jarak langsung dengan jarak di *Cloud Compare Stereo* dan melakukan rata-rata dari nilai selisih tersebut, maka chart bar dari seluruh rata-rata jarak



Gambar 4.2. Grafik Selisih Jarak

Dalam Geometri Jarak untuk intensitas cahaya 800 lux, 1200 lux mempunyai rata-rata selisih yang tidak terlalu jauh kecuali intensitas cahaya 400 lux, 1600 lux dan 2000 lux yang mempunyai rata-rata selisih cukup jauh. Perbedaan ini disebabkan oleh pencahayaan yang terlalu gelap atau terlalu terang sehingga dapat mempengaruhi pergeseran geometri point cloud dari model 3D (tiga dimensi).

IV.3. Hasil Identifikasi Warna

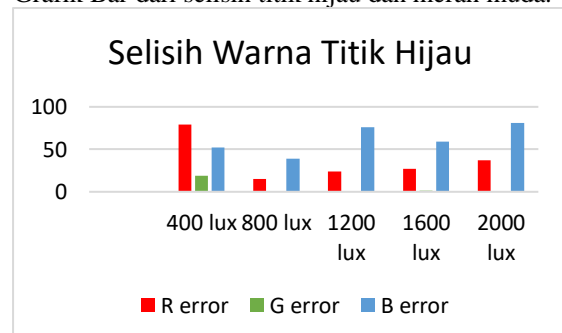
Identifikasi warna dilakukan dengan Analisis Radiometri yang mempengaruhi warna RGB ini didapat dengan membandingkan atau mencari selisih nilai RGB dari titik warna hijau da pink yang sudah ditempel pada objek sebelumnya.

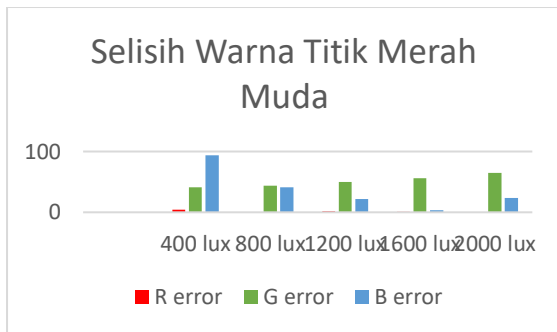
Hasil yang akan dibandingkan adalah hasil RGB menggunakan aplikasi identifikasi warna MAX-INVEST dan hasil RGB dari software Cloud Compare Stereo. Hasil RGB dari software Cloud Compare Stereo disini mempunyai dua bentuk yaitu 3D (tiga dimensi) dan bentuk satu sisi sebelum dilakukan *Regristrasi Cloud to Cloud*.

Hijau			
intensitas	R error	G error	B error
400 lux	79	19	52
800 lux	15	0	39
1200 lux	24	0	76
1600 lux	27	1	59
2000 lux	37	0	81
Merah Muda			
intensitas	R error	G error	B error
400 lux	4	41	94
800 lux	0	44	41
1200 lux	2	50	22
1600 lux	1	56	3
2000 lux	0	65	24

Tabel 4.3. Selisih Warna RGB

Setelah menda[atkan semua selisih RGB, maka Grafik Bar dari selisih titik hijau dan merah muda.





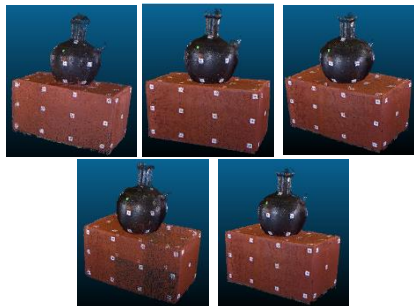
Gambar 4.3. Grafik Warna RGB

Dalam Analisis Warna RGB disini dapat dilihat gelap dan tingginya cahaya dapat merubah warna dari titik hijau dan merah muda yang sudah ditentukan. Dapat dilihat pada kelima intensitas cahaya yang mempunyai selisih RGB yang cukup jauh kecuali warna yang dominan dari kedua titik validasi.

Pencahayaan mampu merubah satu warna menjadi warna lain yang serupa karna perbedaan dari pencahayaan itu sendiri contoh seperti warna hijau mempunyai penjabaran warna yang banyak seperti hijau tua, hijau toska, hijau muda, dll.

IV.4. Hasil pemodelan tiga dimensi

Setelah melakukan proses *Regristrasi Cloud to Cloud* untuk keseluruhan intensitas cahaya seperti pada BAB III maka akan menghasilkan model 3D (tiga dimensi) dari objek yang telah direkam.



Gambar 4.4. Hasil Pemodelan 3D

Model 3D (tiga dimensi) ini di kelima intensitas cahaya mempunyai kendala pada saat perekaman objek dimana ada bagian-bagian objek yang tidak terekam akibat terangnya pencahayaan dan pergerakan dari alat perekaman pada saat akuisisi data. Di atas pencahayaan 8000 lux ke atas alat tidak dapat merekam atau memproyeksikan bentuk dari objek menjadi model 3D (tiga dimensi).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

IV.1. Kesimpulan

Secara keseluruhan kegiatan perekaman 3D (tiga dimensi) pada objek kendi dan sebuah kotak dengan intensitas cahaya yang berbeda dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Bentuk model 3D (tiga dimensi) dari kelima intensitas cahaya mempunyai kegagalan dalam pemodelan 3D (tiga dimensi) dimana ada beberapa point cloud yang kosong, penggabungan yang gagal, atau sisi-sisi yang tidak dapat dibentuk dengan baik akibat pengaruh intensitas cahaya ataupun pergerakan *kinect* yang tidak konsisten sehingga membuat *kinect* tidak dapat menangkap objek secara maksimal.
2. Intensitas cahaya yang berbeda dapat mempengaruhi geometri khususnya dari perbedaan jarak titik retro ke retro lainnya, seperti pada intensitas cahaya 400 lux, 1600 lux dan 2000 lux yang mempunyai selisih jauh sehingga mempengaruhi kesesuaian bentuk dari model 3D (tiga dimensi) tersebut.
3. Warna RGB dari kedua titik validasi untuk kelima intensitas cahaya memiliki perbedaan yang jauh kecuali warna dominan untuk kedua titik validasi *Red* (merah) untuk titik validasi merah muda dan *Green* (hijau) untuk titik validasi hijau.

IV.2. Saran

Penelitian yang telah dikerjakan tidak sepenuhnya sempurna. Terdapat beberapa kekurangan yang tidak sesuai dengan yang diharapkan. Berdasarkan penelitian ini maka terdapat beberapa saran apabila kajian mengenai pengaruh intensitas cahaya terhadap *Depth Camera Kinect Xbox* akan dikembangkan, yaitu:

1. Perlunya memilih pencahayaan yang baik seperti 800 lux atau 1200 lux pada saat perekaman karna cukup mampu menangkap objek secara keseluruhan dan hindari pencahayaan yang terlalu terang khususnya diatas 2000 lux karna sulit untuk menangkap objek secara keseluruhan.
2. Pergerakan Kinect harus konsisten. Jika pergerakan Kinect tidak konsiten maka akan terjadi pergeseran pada hasil perekaman 3D (tiga dimensi) yang didapatkan.
3. Desain retro harus dipertimbangkan terlebih dahulu. Kegagalan bentuk pada penelitian ini adalah akibat bentuk retro yang kadang sulit pada saat melakukan *Regristrasi Cloud to Cloud* karna dilakukan dengan manual menggunakan penglihatan mata manusia. Maka retro perlu dilakukan desain dengan baik sehingga mudah melakukan *Regristrasi Cloud to Cloud* pada saat pengolahan data dan membentuk model 3D (tiga dimensi) yang baik.
4. Perlu untuk selalu memperhatikan keseluruhan tangkapan dari camera ke permukaan objek pada saat perekaman,

bahkan untuk sisi-sisi di sudut-sudut objek yang sulit tercover dikarenakan dapat terjadi kegagalan bentuk pada saat pengolahan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Alsadik, B., 2015, "*Guide Close Range Photogrammetry for 3D Modelling of Cultural Heritages Sites*", disertasi, *Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, University of Twente, The Netherlands*.
- Andrei, Constantin-Octavian., 2006, "*3D affine coordinate transformations*", *Master's of Science Thesis in Geodesy No. 3091, School of Architecture and the Built Environment Royal Institute of Technology (KTH)*. Stockholm, Sweden
- Atkinson, 1980. *Development in Close Range Photogrammetry-I*. London: Applied Science Publisher.
- Atkinson, 1996. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland, UK: Whittles Publishing.
- Harintaka, 2012. *Fotogrametri Non Topografi*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada
- Leitch, K. R., 2010. *Close Range Photogrammetric Measurement of Bridge Deformation*. New Mexico: Lambert Academic Publishers.
- Wahab, A. G., 2009. Analisis Geometri Data Objek Tiga Dimensi Menggunakan Fotogrametri Rentang Dekat , *Terrestrial Laser Scanning, dan Electronic Total Station (ETS)*, Bandung: Teknik Geodesi dan Geomatika, ITB.
- Wolf, P. R., & Dewitt, B. A. 2000. *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS: 3rd Edition*. New York: McGraw Hill.